

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-202547

(43)Date of publication of application : 04.08.1995

(51)Int.Cl.

H01Q 3/26
G02F 1/13
H04B 10/105
H04B 10/10
H04B 10/22

(21)Application number : 05-337590

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 28.12.1993

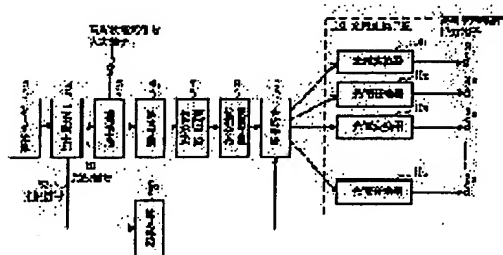
(72)Inventor : KOBAYASHI OSAMU
HORIKAWA KOJI
OGAWA HIROTSUGU

(54) ANTENNA BEAM FORMING CIRCUIT

(57)Abstract:

PURPOSE: To supply high frequency electric signals obtained by modulating the amplitude of an optical wave signal by phase distribution control to array antenna elements and to directly perform the control in 1:1 correspondence relations.

CONSTITUTION: A superposing means 5 superposes a high frequency electric signal on one or a laser beam 3 distributed into two, and expanding means 61 two-dimensionally expands the beam diameter of this superposed beam to output it as a luminous flux. An intensity distribution modulating means 7 and a phase distribution modulating means 8 modulate the intensity and the phase of this expanded luminous flux by electric modulation signals respectively with respect to face. An expanding means 62 expands the other of the laser beam distributed into two and outputs it as a luminous flux. A synthesizing means 9 synthesizes outputs of modulating means and the output of the expanding means 62, and a photoelectric conversion means 10 outputs the high frequency electric signal by photoelectric conversion.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-202547

(43) 公開日 平成7年(1995)8月4日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 Q 3/26

Z

G 0 2 F 1/13

5 0 5

H 0 4 B 10/105

10/10

9372-5K

H 0 4 B 9/ 00

R

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平5-337590

(22) 出願日 平成5年(1993)12月28日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 小林 理

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 堀川 浩二

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 小川 博世

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

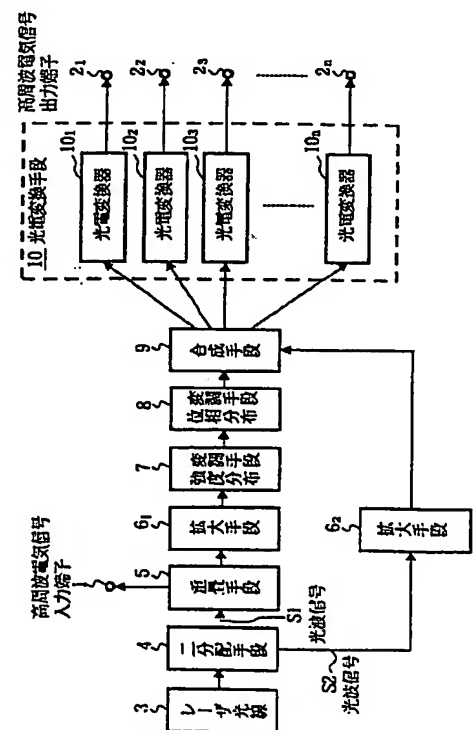
(74) 代理人 弁理士 井出 直孝 (外1名)

(54) 【発明の名称】 アンテナビーム形成回路

(57) 【要約】

【目的】 光波信号の振幅位相分布制御により変調した高周波電気信号をアレーアンテナ素子に与え、かつその対応関係が1対1で、制御を直接的にできる。

【構成】 重畳手段5は二分配手段4で二分配されたレーザ光線3の一方の光線に高周波電気信号を重畳し、拡大手段6₁はこの重畳された光線のビーム径を2次元的に拡大し光束として出力する。強度分布変調手段7および位相分布変調手段8はこの拡大された光束の強度および位相を電気的変調信号で面的にそれぞれ変調する。拡大手段6₂は二分配された他方の光線を拡大し光束として出力する。合成手段9は変調手段の出力と拡大手段6₂の出力とを合成し、光電変換手段10は光電変換して高周波電気信号を出力する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 送信信号が電気信号として入力する高周波電気信号入力端子（1）と、この入力端子（1）からの電気信号を第一の光波信号（ S_1 ）と重畳する重畳手段（5）と、この重畳手段（5）の出力光と第二の光波信号（ S_2 ）とを合成しヘテロダイン検波する合成手段（9）と、この合成手段（9）の出力光をそのビームの異なる n 個の各部分について光電変換しそれぞれアンテナ素子に給電する n 個の光電変換素子を含む光電変換手段（10）とを備え、

前記第一の光波信号（ S_1 ）の光路および前記第二の光波信号（ S_2 ）の光路のいずれかに変調手段（7、8）が設けられ、

この変調手段（7、8）は、その光路を横切る面について第一の電気的変調信号により強度分布変調を施す第一の変調素子（7）と、前記重畳手段の出力光を横切る面について第二の電気的変調信号により位相分布変調を施す第二の変調素子（8）とが縦続接続された光回路を含むことを特徴とするアンテナビーム形成回路。

【請求項2】 第一の光波信号および第二の光波信号は共通のレーザ光源（3）により発生される請求項1記載のアンテナビーム形成回路。

【請求項3】 第一の光波信号および第二の光波信号はそれぞれ別のレーザ光源（ 3_1 、 3_2 ）により発生される請求項1記載のアンテナビーム形成回路。

【請求項4】 前記第一および第二の変調素子はそれぞれ反射型液晶空間光変調素子であり、この二つの変調素子をそれぞれ前記第一および第二の電気的変調信号により制御する液晶空間光変調素子コントローラを備えた請求項1ないし3のいずれかに記載のアンテナビーム形成回路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、アレーアンテナのアンテナビーム形成回路に利用する。特に、形状や方向を変え得る単一のビームを送信するアレーアンテナのアンテナビーム形成回路に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 図10は第一従来例のアンテナビーム形成回路を使用したアクティブアレーアンテナのブロック構成図である。アレーアンテナは複数のアンテナ素子より構成されたアンテナで、各素子に適切な振幅および位相に設定した高周波信号を給電することにより、所望の形状と方向とを有するアンテナビームを形成することができる。アンテナ開口における電界分布とアンテナビームパターンとはフーリエ変換の関係にあることが知られおり、ビームの向きは各素子に与える信号の位相を制御することにより変えることが可能である。

【0003】 従来、アンテナビーム形成回路は、図10に示すような構成であった。図10は、送信系としてア

クティブアレーアンテナを用いた場合の構成を示したものである。高周波電気信号入力端子1より入力された信号は、電力分配器51により n 個に分配され、分配された各々の信号は、高周波信号増幅器（または減衰器） $52_1 \sim 52_n$ および高周波信号移相器 $53_1 \sim 53_n$ において適当な振幅および位相を持つように設定され、高周波信号出力端子 $2_1 \sim 2_n$ を経て、電力増幅器 $54_1 \sim 54_n$ で増幅され、アンテナ素子 $55_1 \sim 55_n$ に給電される。各アンテナ素子 $55_1 \sim 55_n$ から放射された電磁波は、ある形状と向きとを有する一つのビームを形成する。電力分配器51、高周波信号増幅器（または減衰器） $52_1 \sim 52_n$ 、高周波信号移相器 $53_1 \sim 53_n$ より構成された部分50は、アンテナのビーム形成に関わる高周波信号処理を行うものであることから、アンテナビーム形成回路と呼ばれる。

【0004】 近年、アンテナビーム形成回路に光学的な情報処理手法を適用し、ビーム形成を光波領域の信号処理によって行う研究が、いくつかの研究機関において進められている。以下、ここでは、光信号を利用するビーム形成回路を光ビーム形成回路と呼ぶことにする。

【0005】 アンテナ開口における電界分布とアンテナビームパターンは、フーリエ変換の関係にあることは前述した。光学で用いる凸レンズにはフーリエ変換機能があるが、この機能を利用したものが、次に述べる光ビーム形成回路である。いくつかの研究機関において、フーリエ光学を利用したこの種光ビーム形成回路の研究開発が進められている。

【0006】 図11は第二従来例のアンテナビーム形成回路を使用したアクティブアレーアンテナのブロック構成図である。図11は、我国のATR（Advanced Telecommunications Research Institute International、国際電気通信基礎技術研究所）において研究されている光ビーム形成回路の構成図を示している（電子情報通信学会技術研究報告、A・P91-89、「光制御アレーアンテナの励振振幅位相分布と放射特性」、小西彦彦、中條渉、藤瀬雅行）。この回路は、イメージマスクにアンテナビームパターンに対応するビームパターンを描き、レンズのフーリエ変換作用を利用して、アンテナ開口面に与える高周波の励振分布を得ようとするものである。

【0007】 レーザ光源3cからの出射光は、コリメートレンズ15aによってコリメートした光束にされ、イメージマスク16、フーリエ変換レンズ17を通過する。フーリエ変換レンズ17の後に置かれたハーフミラー9bにおいて、この光束と、レーザ光源3dから出射しコリメートレンズ15bによって平行光とされた光束が合成され、構成された光束は光ファイバ束18の入力面に達し、さらに光ファイバ束18を経て、ホトディテクタアレー10a₁～10a_nにおいて光電変換される。イメージマスク16はフーリエ変換レンズ17の前側焦点面に置かれており、また光ファイバ束18の

入射面はフーリエ変換レンズ17の後側焦点面に置かれている。このとき、後側焦点面においては、イメージマスク16に描かれたマスクパターン（ここではピンホールが使われている）のフーリエ変換像が得られている。また、レーザ光源3cとレーザ光源3dの光周波数の差は常に一定になるように制御されている。コヒーレント検波を行うホットディテクタアレー10a₁～10a_nの出力は、アンテナパタンのフーリエ変換に相当する振幅と位相の重み付けを受けているとともに、その周波数は二つのレーザ光源3cとレーザ光源3dとの光周波数の差に等しくなっている。光検出器（ホットディテクタアレー10a₁～10a_n）の出力信号は、電力増幅器54₁～54_nにより増幅され、アンテナ素子55₁～55_nより放射される。

【0008】図12は第三従来例のアンテナビーム形成回路のブロック構成図である。図12は、米国のヒューズ社において研究開発されている光ビーム形成回路の構成を示している（Proc. of AIAA '92, pp. 1279-1288, Washinton D. C., March 1992., "Phased array antenna beam forming using optical processor", L. P. Anderson, F. Bolidissar, D. C. D. Chang）。

【0009】レーザ光源3より出射された光線は、空間フィルタ19aとコリメータレンズ15cを経て平行な光束にされた後、光束はビームスプリッタ4bで二つの経路に分岐される。一方の経路はアンテナビームの形成の目的に使われ、経路上で光束は空間的な変調を受ける。ビームスプリッタ4bを通過した光束は、ハーフミラー11cに当たり、反射型空間光変調器20に入射する。反射型空間光変調器20には所望のアンテナビームパターンに対応する図形が描かれており、面的に強度変調された光束が出力される。この光束はフーリエ変換レンズ17を経て、その後焦点面に一致して置かれた光ファイバ束18の入射面に至る。なお、反射型空間光変調器20は、フーリエ変換レンズ17の前側焦点面に一致して置かれている。

【0010】一方、ビームスプリッタ4bにおいて反射された光束は、コリメータレンズ15dによって集光され、音響光学変調器5aに注入される。音響光学変調器5aは高周波電気信号入力端子1を有し、この周波数に相当する分だけ光波信号の周波数をシフトさせる機能を持つものである。音響光学変調器5aから出射した光は、空間フィルタ19bを通り、コリメータレンズ15eにより平行な光束とされた後、ミラー14cにより光路を直角に変更され、ハーフミラー9cに至る。ハーフミラー9cにおいて、ビームスプリッタ4bで分岐されたもう一方の経路の光束と再び合成される。合成された光束は、レンズアレー21により受光され光ファイバ束18に入射し、ホットディテクタアレー10a₁～10a_nにおいて光電変換され高周波成分が取り出される。この高周波は、所望のビームを形成するように振幅と位

相が変調されている。この高周波は、電力増幅器54₁～54_nを経てアンテナ素子55₁～55_nより放射される。

【0011】光ビーム形成回路は光素子を用いるものであり、高周波帯で回路を制作した場合と比較して、非常に小さく軽量でコンパクトな回路を構成できることが期待できる。また前述したように、信号の振幅位相制御は光波領域で行うものであり、電気信号の周波数には依存しない。高周波帯における移相器は通常狭帯域であり、これを構成要素として含む従来型のビーム形成回路と比較して、光ビーム形成回路では原理的には広帯域な高周波信号処理が可能であることを、このことは意味している。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】しかし、このような従来例のアンテナビーム形成回路では、光ビーム形成回路を使用した場合に、（1）ピンホールをマスクパターンとしてそのフーリエ変換像をレンズを用いた光学的な手法によって作りだし、かつ、コヒーレントな検波手段と組み合わせることによりアンテナビームの形成に必要な高周波電気信号の振幅位相制御を光波信号の領域で行う方式の光ビーム形成回路、または、（2）ピンホールマスクパタンの代わりに液晶パネルに代表される空間光変調器にアンテナビームパターンに対応する図形を描き、同様な方法で光波信号の領域でビーム形成に必要な信号処理を行う方式の光ビーム形成回路であり、いずれも、アンテナビームパターンに相当する図形を用意し、そのフーリエ変換をレンズを用いて行うものであり、フーリエ光学が適用されている。この二つのビーム形成回路においての制御部は、イメージマスク16または空間光変調器20に描く図形であり、アンテナ素子に所定の振幅と位相関係を有する高周波電気信号を与える立場からみれば、その制御は間接的なものであるといえる。

【0013】アレーアンテナの研究において、低サイドローブなビームパターンを得ることを目的として、古くからテイラー分布やチェビシェフ分布等の様々なアンテナ素子の励振分布が見いだされてきた。現在でも、アレーアンテナを構成しているアンテナ素子に与える信号の重み付けに関して、多くの制御方法が研究されている。これらの研究は高周波帯で信号処理を前提に行われているものであるが、原理的には、そのまま光ビーム形成回路にも適用可能なものである。ただし、これらの研究ではアンテナ素子に与える信号の重み付けを直接に制御することが背景にあるので、これらの研究成果をそのまま光ビーム形成回路に利用するためには、光波信号の振幅と位相の分布を直接的に制御することが必要となってくる。

【0014】また、ピンホールマスクを使うビーム形成回路においてアンテナビームを走査することを考えると、これを実現するためには、例えば、マスクパターンを

変更したり光源をフーリエ変換レンズの焦点面内で機械的に移動させる必要がある。いずれも機械的な稼働機構を必要とするので、迅速なビーム走査には限界がある。アレーアンテナにおけるビーム走査はアンテナ素子に給電する高周波電気信号の振幅分布はそのままに保ち位相分布を変えることによって実現可能であり、光ビーム形成回路においても位相分布のみを直接に制御できれば都合がよい。

【0015】さらに、図11に示す光ビーム形成回路の実験において実際に得られる高周波電気信号の振幅位相分布が、理想的な場合と比較してずれが生じていることを報告しており、この原因を光学系の歪みのためとしている。光学的な歪みは、光路の位相を補正することによって補償可能である。図12に示す光ビーム形成回路においてこれを行うためには、2次元的に光束の位相分布を制御する機構が必要となる。図12に示す光ビーム形成回路では空間光変調素子にアンテナビームパターンに相当する図形を描いているが、レンズを用いたフーリエ変換という光学的な処理を適用することは図11に示す回路と共通であるので、同様な問題が生じることは十分に考えられる。フーリエ光学を用いた光ビーム形成回路では、入力像とアンテナ素子に与える信号の振幅位相分布の関係が直接的でないため、例えば光学的な部品の歪みに起因する位相補正を入力像として与えるためには複雑な計算を必要とする。

【0016】以上のことから、アンテナ素子に与える高周波電気信号の振幅位相分布に直接対応させて光波信号の振幅と位相とを制御可能な光ビーム形成回路が実現できれば、利点は大きい。

【0017】本発明は前記の欠点を解決するもので、アレーアンテナ素子に与える高周波電気信号の振幅位相分布の制御を光波信号の振幅位相分布の制御に置き替え、かつその対応関係が一对一であり、制御を直接的に行うことができるアンテナビーム形成回路を提供することを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明は、送信信号が電気信号として入力する高周波電気信号入力端子(1)と、この入力端子(1)からの電気信号を第一の光波信号(S_1)と重畳する重畳手段(5)と、この重畳手段(5)の出力光と第二の光波信号(S_2)とを合成しヘテロダイン検波する合成手段(9)と、この合成手段(9)の出力光をそのビームの異なる n 個の各部分について光電変換しそれぞれアンテナ素子に給電する n 個の光電変換素子を含む光電変換手段(10)とを備え、前記第一の光波信号(S_1)の光路および前記第二の光波信号(S_2)の光路のいずれかに変調手段(7、8)が設けられ、この変調手段(7、8)は、その光路を横切る面について第一の電気的変調信号により強度分布変調を施す第一の変調素子(7)と、前記重畳手段の出力光

を横切る面について第二の電気的変調信号により位相分布変調を施す第二の変調素子(8)とが縦続接続された光回路を含むことを特徴とする。

【0019】また、本発明は、第一の光波信号および第二の光波信号は共通のレーザ光源(3)により発生されることができる。

【0020】さらに、本発明は、第一の光波信号および第二の光波信号はそれぞれ別のレーザ光源(3_1 、 3_2)により発生されることができる。

【0021】また、本発明は、前記第一および第二の変調素子はそれぞれ反射型液晶空間光変調素子であり、この二つの変調素子をそれぞれ前記第一および第二の電気的変調信号により制御する液晶空間光変調素子コントローラを備えることができる。

【0022】

【作用】レーザ光線を二分配した一方の第一の光波信号に高周波電気信号を重畳し、この重畳された光線のビーム径を2次元的に拡大して光束とし、また二分配した他方の第二の光波信号のビーム径を2次元的に拡大して光束とする。この二つの光束の一方の光束の空間的な強度および位相を第一の電気的変調信号および第二の電気的変調信号でそれぞれ変調する。この変調された光束と他方の光束とを合成しヘテロダイン検波しビームの異なる n 個の各部分について光電変換しそれぞれアンテナ素子に給電する。これによりアレーアンテナ素子に与える高周波電気信号の振幅位相分布の制御を光波信号の振幅位相分布の制御に置き替え、かつその対応関係が一对一であり、制御を直接的に行うことができる。

【0023】ここで、レーザ光源を二分配して第一および第二の光波信号とする代わりに二つのレーザ光線を使用してもよい。

【0024】前述のことは、光ビーム形成回路では、高周波信号の振幅と位相の制御が光波信号を媒介としてできることを原理としている。図9は光ビーム形成回路の原理を説明するためのブロック構成図であり、光波信号を媒介として高周波電気信号の振幅および位相を制御する系を示したものである。図9は、この原理を説明するためのものである。高周波電気信号入力端子1を有するEO変換部(電気光変換部)41、光振幅変調器42、光位相変調器43、高周波電気信号出力端子2を有するOE変換部(光電気変換部)44が、この順に縦続接続された回路を考える。全体の系としては、高周波電気信号入力端子1より高周波電気信号を入力し、高周波電気信号出力端子2より処理された信号を取り出す。

【0025】EO変換部1は高周波電気信号を光波信号に変換するもので、レーザ光源3aとEO変換素子41aとより構成されている。ここで用いるEO変換部41は、入力した高周波電気信号の周波数分だけ周波数シフトした光波信号を出力する機能を有するものである。すなわち、入力する高周波電気信号を $\cos \omega_{RF} t$ とす

るとき、出力光波信号は $c \cos (\omega_{RF} + \omega_{Op1}) t$ となっている。ただし、 ω_{RF} は電気信号の角周波数および ω_{Op1} はレーザ光源 3 a の光波信号の各周波数を表している。

【0026】次に続く光振幅変調器 4 2 および光位相変調器 4 3 では、前段の光波信号を入力とし、入力する電気信号に基づいてその振幅と位相を変調した光波信号を出力する。振幅変調の量を A 、位相変調の量を ϕ とすると、変調後の信号は、 $A \cos (\omega_{RF} + \omega_{Op1}) t + \phi$ と書ける。この光波信号は、次段の OE 変換部 4 4 の入力となる。

【0027】OE 変換部 4 4 は、OE 変換素子 4 4 a および局部発振光用のレーザ光源 3 b より構成されている。OE 変換部 4 4 は、 $\cos \omega_{Op1} t$ を局部発振光としてコヒーレント検波を行う。OE 変換部 4 4 から出力する高周波電気信号は $A \cos (\omega_{RF} t + \phi)$ であり、これが高周波電気信号出力端子 $2_1 \sim 2_n$ より出力される。

【0028】すなわち、図 9 に示した系において、系は $\cos \omega_{RF} t$ なる高周波電気信号の入力に対し、電気信号の制御により $A \cos (\omega_{RF} t + \phi)$ を出力する。この信号は、振幅成分が A 、位相成分が ϕ になる変調を受けており、光波領域における振幅と位相の変調処理によって、高周波信号の振幅位相制御が可能であることを示している。

【0029】図 10 では送信用のアクティブアレーアンテナのビーム形成回路を示したが、その振幅設定回路および位相設定回路の各々は、図 9 に説明した光波信号を媒介にした振幅設定回路および位相設定回路に置き換え可能である。

【0030】アンテナ開口における電界分布とアンテナビームパターンは、フーリエ変換の関係にあることは前述した。したがって、ビーム形成回路は所望とするビームパターンの空間的なフーリエ変換に相当する振幅および位相成分を有する信号を、各アンテナ素子に給電するためのものといえる。

【0031】

【実施例】本発明の実施例について図面を参照して説明する。

【0032】図 1 は本発明第一実施例アンテナビーム形成回路のブロック構成図である。図 1 において、アンテナビーム形成回路の特徴とするところは、送信する高周波電気信号を入力する高周波電気信号入力端子 1 と、高周波電気信号入力端子 1 からの電気信号を第一の光波信号として光波信号 S_1 と重畳する重畳手段 5 と、この重畳手段 5 の出力光と第二の光波信号として光波信号 S_2 とを合成しヘテロダイン検波する合成手段 9 と、合成手段 9 の出力光をそのビームの異なる n 個の各部分について光電変換しそれぞれアンテナ素子に給電する n 個の光電変換素子として光電変換器 $10_1 \sim 10_n$ を含む光電

変換手段 10 とを備え、光波信号 S_1 の光路に変調手段 7、8 が設けられ、変調手段 7、8 は、その光路を横切る面について第一の電気的変調信号により強度分布変調を施す第一の変調素子と、重畳手段 5 の出力光を横切る面について第二の電気的変調信号により位相分布変調を施す第二の変調素子とが縦続接続された光回路を含むことにある。

【0033】また、光波信号 S_1 および光波信号 S_2 は共通のレーザ光源 3 により発生される。

【0034】さらに、前記第一および第二の変調素子はそれぞれ反射型液晶空間光変調素子として反射型液晶空間光強度変調素子 7 a および反射型液晶空間光位相変調素子 7 b であり、この二つの変調素子をそれぞれ前記第一および第二の電気的変調信号により制御する液晶空間光変調素子コントローラ 1 3 を備える。

【0035】すなわち、具体的に述べるとレーザ光源 3 と、レーザ光源 3 の出射する二つの経路に分配する二分配手段 4 と、送信信号の高周波電気信号を入力する高周波電気信号入力端子 1 と、二分配手段からの光線の一方に高周波電気信号入力端子 1 からの高周波電気信号を重畳する重畳手段 5 と、重畳手段 5 からの光線のビーム径を 2 次的に拡大し拘束として出力する拡大手段 6_1 と、拡大手段 6_1 からの光束の空間的な強度分布を第一の電気的変調信号により面的に変調する強度分布変調手段

(反射型液晶光強度変調素子 7 a および液晶空間光変調素子コントローラ 1 3) 7 と、強度分布変調手段 7 からの光束の空間的位相分布を第二の電気的変調信号により面的に変調する位相分布変調手段 (反射型液晶空間光位相変調素子 8 a および液晶空間光変調素子コントローラ 1 3) 8 と、二分配手段 4 からの光線の他方のビーム径を 2 次的に拡大し光束として出力する拡大手段 6_2 と、位相分布変調手段 8 からの光束と拡大手段 6_2 からの光束とを合成しヘテロダイン検波を行う合成手段 9 と、合成手段 9 からの光束を光電変換する n 個の光電変換器 $10_1 \sim 10_n$ および高周波電気信号を出力する高周波電気信号出力端子 $2_1 \sim 2_n$ を含む光電変換手段 10 とを備える。

【0036】このような構成のアンテナビーム形成回路の動作について説明する。

【0037】図 1 において、アンテナビーム形成回路は、高周波電気信号を入力する高周波電気信号入力端子 1 と、アレーアンテナ素子に加える高周波信号を出力する高周波電気信号出力端子 $2_1 \sim 2_n$ とを有する 1 入力 n 出力の回路網である。

【0038】光ビーム形成回路は、レーザ光源 3 を有し、そこから出射された光は、光を二分配する二分配手段 4 に入力され二つの光路に分岐される。一方の光線は、高周波電気信号を光信号に重畳する重畳手段 5 の入力となる。光信号に重畳する高周波電気信号は高周波電気信号入力端子 1 より入力される。高周波電気信号を光

信号に重畳する重畳手段5から出力された光信号は、光を2次元的に拡げる拡大手段6₁に入力される。拡大手段6₁は、レーザ光線のビーム径を拡大して再び光束として出射するものである。(ここでは、2次元的に空間フィルタリング処理を行うための面的な拡がりをもつ光線を光束と呼び、単なる光線と言う語と区別して使用している。)この光束は、2次元的に光信号の強度分布を変調する強度変調手段7とそれに縦続接続された2次的の光波信号の位相分布を変調する位相分布変調手段8について入力され、所望の振幅分布と位相分布を持った光束として出力される。この光束の2次元的な振幅位相分布が、アンテナの開口面に与えられる振幅位相分布に相当する。この光束は、光を合成する合成手段9の一方の入力となる。

【0039】光を二分配する二分配手段4によって二つに分配された光線の他方の光線は、光を2次元的に拡げる拡大手段6₂を通して2次元的に拡大された後、光を合成する合成手段9の他方の入力となり、先に説明した2次元的に振幅位相変調された光束と合成される。

【0040】光を合成する合成手段9から出射した光は、光電変換器10₁～10_nの2次元なアレイより構成された光電変換する光電変換手段10に入力され、それぞれの光電変換器10₁～10_nにおいて高周波電気信号が取り出される。ここでとられている光電変換の方法はいわゆるヘテロダイン法であり、レーザ光源3から出射して光を二分配する二分配手段4により二分され、さらに光を2次元に拡げる拡大手段6₂より出射された光が局部発振光として作用している。信号用の光源と局部発振光の光源を同一光源としていることから、ヘテロダイン検波の方式は自己ヘテロダイン法ともいわれている。変換された高周波電気信号には、それぞれに強度分布変調手段7および位相分布変調手段8において行った光波領域での振幅位相変調がそのまま反映されている。光電変換器10₁～10_nから出力された高周波電気信号は、それぞれの高周波電気信号出力端子2₁～2_nから取り出され、電力増幅器において増幅され、アンテナ素子に給電される。

【0041】ここで、レーザ光源からの出射光を二分し、二分した二つの経路の光を再び合成し干渉させる方式の干渉系は「マッハツェンダー型干渉計」という名で知られている。この干渉計によって得られる干渉縞には、二つの光路における差異が反映されている。図1に説明した光ビーム形成回路の構成は、マッハツェンダー型干渉計を光ビーム形成回路に応用したものであるといえる。

【0042】図2は本発明第一実施例アンテナビーム形成回路の具体的なブロック構成図である。図2において、レーザ光源3より出射した光線は、ビームスプリッタ4aによって二つの光路に2分される。一方の経路の光線は、高周波電気信号を重畳し、光波領域において所

望の振幅、位相変調処理を行うためのものである。もう一方の経路の光線は、ヘテロダイン検波により高周波電気信号を取り出すための局部発振光として使用する。

【0043】まず、前者の経路について説明する。コリメートレンズ15f、音響光学変調器5aおよびコリメートレンズ15gより構成される部分は、高周波電気信号を光波信号に重畳するための重畳手段5に対応するものである。ビームスプリッタ4aにより二分されたコリメート光の一方は、コリメートレンズ15fにより集束され、音響光学変調器5aに加えられる。高周波電気信号入力端子1から高周波電気信号を入力すると、そのまま透過する光に加えて1次の回折光が発生する。

【0044】この内、1次の回折光の光周波数は、高周波電気信号入力端子1から高周波電気信号の周波数分だけ周波数がシフトしている。この1次回折光をコリメートレンズ15gにより取り出し、コリメート光として出力する。

【0045】この光線は、ビームエキスパンダ6aにより2次元的に拡大された光束となる。光束はハーフミラー11aに入射し、透過光は反射型液晶空間光強度変調素子7aに当たる。反射光はハーフミラー11aに再び入射し、その反射光はさらに検光子12を通り取り出される。反射型液晶空間光強度変調素子7aは液晶空間光変調素子コントローラ13により制御されており、その結果は検光子12透過後の光束の2次元的な強度分布に反映されている。反射型液晶空間光強度変調素子7aの直前に置いたハーフミラー11aおよび検光子12は、合わせて偏光ビームスプリッタに置き換えることも可能で、この場合には、ハーフミラーを2度通過することによる光損失がなくなる。

【0046】検光子12を透過した光束は別のハーフミラー11bに入射し、その反射光は反射型液晶空間光位相変調素子8aに入射する。反射型液晶空間光位相変調素子8aの反射光は再びハーフミラー11bに入射する光束となる。透過光成分を出力として取り扱う。反射型液晶空間光位相変調素子8aも液晶空間光変調素子コントローラ13により制御されており、光束の位相が2次元的に変調される。反射型液晶空間光位相変調素子8aでは、反射型液晶光強度変調素子7aによる強度変調に伴う位相変調分の補償をも行う。

【0047】ハーフミラー11bから出射する光束は、反射型液晶空間光強度変調素子7aおよび反射型液晶空間光位相変調素子8aにより、光波の領域で所望の振幅位相変調が行われている。ハーフミラー11bから出射する光束は、ハーフミラー9aの二つの入力光束の一つとなる。

【0048】ビームスプリッタ4aで分割された光線の他方は、ミラー14aに当たり、ビームエキスパンダ6bにおいて拡大され、ミラー14bで反射された後、ハーフミラー9aのもう一方の入力光となる。ここで、ハ

ーフミラー11bからの光束と合成（加算）される。

【0049】ハーフミラー9aで加算された光束は、ホトディテクタアレー10a₁～10a_nに入射し光電変換された後、それぞれのホトディテクタアレー10a₁～10a_nの高周波電気信号出力端子2₁～2_nより高周波電気信号が取り出される。この高周波電気信号は、高周波電気信号入力端子1より入力した高周波電気信号と同一の周波数の信号であるとともに、その振幅と位相には、液晶空間変調素子において行った振幅変調および位相変調がそのまま反映されている。この高周波電気信号のそれぞれは、さらに電力増幅器へと導かれ、アンテナ素子から放射される。

【0050】図3は本発明第二実施例アンテナビーム形成回路のブロック構成図である。

【0051】第一実施例の構成では、光を二分配する二分配手段4によって作られた二つの光路の内、高周波電気信号を光信号に重畳する重畳手段5と、光束の振幅、位相を変調する強度分布変調手段7および位相分布変調手段8を同一の光の経路上に設けていた。重畳手段5と、強度分布変調手段7および位相分布変調手段8を別光路に設けた構成も可能である。第二実施例はこのような構成を記述したものである。

【0052】図4は本発明第三実施例アンテナビーム形成回路のブロック構成図である。図1～図3では、一つのレーザ光源を用いた光ビーム形成回路について説明したが、レーザ光源を二つに分離した構成とすることもできる。二つのレーザ光源の内、一つは、高周波電気信号を重畳し、さらに、振幅位相変調処理をする目的で使用する。他の一つのレーザ光源は、コヒーレント検波における局部発振光源として使用する。図4は、二つの光源を使用した光ビーム形成回路の構成図を示す。

【0053】レーザ光源3₁から出射したレーザ光線は、光信号に高周波電気信号を重畳する重畳手段5に直結されている。重畳手段5において、光信号に電気信号が重畳される。拡大手段6₁から強度分布変調手段7および位相分布変調手段8を経て合成手段9に至る以降の系は、図1に示す場合と同じであるので、説明を省略する。

【0054】他方のレーザ光源3₂から出射した光線は、光を2次元的に拡げる拡大手段6₂に入射する。この光束は光を合成する合成手段9において、レーザ光源3₁から出射し、振幅位相変調処理された光と合成される。

【0055】合成手段9からの出射光は光電変換する光電変換器10₁～10_nにおいて、高周波電気信号に変換され、高周波電気信号出力端子2₁～2_nから取り出される。そのそれぞれは、電力増幅器で増幅され、アンテナ素子から放射される。

【0056】図5は本発明第三実施例アンテナビーム形成回路の具体的なブロック構成図である。

【0057】この構成では、一つのレーザ光源を高周波電気信号を重畳しさらに光波領域における振幅位相変調処理に用い、もう一方の光源を高周波電気信号を取り出すためのヘテロダイン検波用の局部発振光として使用する。

【0058】図5において、レーザ光源3cより出射した光線が前者のためのものであって、直接、コリメートレンズ15fにより集光され、音響光学変調器5aに入力される。音響光学変調器5aにおいて高周波電気信号入力端子1から高周波電気信号を入力し、この信号の周波数分だけ周波数シフトした1次回折光をコリメートレンズ15gにより取り出す。

【0059】この光線は、さらに、ビームエクスパンダ6aにより拡大され、ハーフミラー11a、反射型液晶空間光強度変調素子7a、ハーフミラー11a、検光子12、ハーフミラー11b、反射型液晶空間光位相変調素子8a、ハーフミラー11bを経て、ハーフミラー9aの一方の入力となる。この間において、光束は2次元的な振幅と位相の変調を受けるが、これは図2のときと全く同じである。

【0060】他方の光源3dより出射した光は、ビームエクスパンダ6bにおいて拡大され、ミラー14bで反射され、ハーフミラー9aの他方の入力光となる。ここで、ハーフミラー11bからの光束と合成（加算）される。

【0061】図2に示す場合と同様に、ハーフミラー9aで加算された光束は2次元的に配置されたホトディテクタアレー10a₁～10a_nに入射され光電変換され、それぞれのホトディテクタアレー10a₁～10a_nの高周波電気信号出力端子2₁～2_nより高周波電気信号が取り出される。この高周波電気信号は、高周波電気信号入力端子1より入力した高周波電気信号の周波数に、二つのレーザ光源3cとレーザ光源3bとの光周波数の差を加えたものとなる。また、その振幅と位相には、液晶変調素子において行った変調がそのまま反映されている。この高周波電気信号のそれぞれは、さらに、電力増幅器へと導かれ、アンテナ素子から放射される。

【0062】図6は本発明第四実施例アンテナビーム形成回路のブロック構成図である。

【0063】第二実施例の場合と同様に、前述の第三実施例の構成でも、高周波電気信号を光波信号に重畳する重畳手段5を光束の振幅および位相を変調する強度分布変調手段7および位相分布変調手段8と同一の光経路上に設けず、レーザ光源3₂と光を2次元的に拡げる拡大手段6₂の間に置いた構成をすることも可能である。図6にこのようなブロック構成図を記載する。

【0064】以上に説明した4通りの光ビーム形成回路は、空間光変調素子を用いた2次元的に光信号の強度分布を変調する強度分布変調手段7とそれに縦続接続した2次元的に光信号の位相分布を変調する位相分布変調手

段8によって、信号の振幅と位相の制御を実現しているところに特徴がある。空間光変調素子としては、電気光学結晶を利用したものや液晶を利用したものが知られている。ここでは、ネマチック液晶を用いた空間光変調素子について説明する。

【0065】図7は液晶デバイスによる光束の位相変調の原理を示す図である。図8は液晶デバイスによる強度変調の原理を示す図である。

【0066】まず、位相変調動作について説明する。位相のみの変調には、液晶分子が平行に配向しているタイプの液晶デバイスを使用する。液晶分子は、長い回転楕円体状の形状で、光学的な異方性があり、屈折率が長軸方向と短軸方向とで異なる。図7は、2枚の透明ガラス電極31の間にネマチック液晶分子32を封入して構成した液晶デバイスの模式図を示す。図7(a)は液晶デバイス駆動電源33により2枚の電極に加える電圧がゼロの場合を示しており、図7(b)は電圧が中間、図7(c)は電圧が高い順に液晶デバイス駆動電源33の電圧を上げている。加える電圧を上げるに従って、液晶分子(ネマチック液晶)32の長軸方向の配向が透明ガラス電極31に垂直になっていく様子がみてとれる。

【0067】次に、透明ガラス電極31に対して垂直に入射光束34を入射し、透過光束35の位相を考える。光の偏光方向は、電源の電圧がゼロの場合の液晶分子32の長軸方向と平行する。液晶分子32の長軸が透明ガラス電極31に対して垂直である場合を基準にして、液晶分子32の長軸が透明ガラス電極31と平行になった場合には等価的な光路長が異なるため、液晶パネルを透過する光の位相変調の度合が異なることがわかる。液晶分子32の配向が中間的な場合には、透過光が受ける位相変調の度合も中間的なものとなる。なお、光の偏光方向が電圧がゼロの場合の液晶分子32の長軸方向と垂直な場合には、電圧を変化させてもそれによる位相の変化

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}(\cos \{\omega t + \phi_x(V)\} + \cos \{\omega t + \phi_y(V)\}) \\ &= \cos \frac{\phi_x(V) - \phi_y(V)}{2} \cos \left(\omega t + \frac{\phi_x(V) + \phi_y(V)}{2} \right) \end{aligned} \quad \text{----- (1)}$$

となる。

【0074】式(1)からわかるように、透過光は、

【0075】

【数4】

$$\cos \frac{\phi_x(V) - \phi_y(V)}{2}$$

なる振幅変調を受けていることがわかる。

【0076】また、透過光は前述の振幅変調とともに、

【0077】

【数5】

$$\frac{\phi_x(V) + \phi_y(V)}{2}$$

はない。

【0068】透明ガラス電極31をセルに区切りその各々に加える電圧を制御できれば、これは可変位相器のアレイとなる。本発明では、このような光変調器(空間光変調器)を使う。

【0069】前述の空間光位相変調素子は、強度変調素子として動作させることも可能である。位相変調のみの場合には液晶デバイス駆動電源33による印加電圧が0ボルトの状態における液晶分子32の長軸方向と同一方向に偏光した光束を入射した。(以下、印加電圧が0ボルトの状態における液晶分子の長軸方向をy軸方向、光束の入射面においてこれに直角な軸方向をx軸とする。)強度変調素子として使用する場合には、通常、入射光の偏光をそれと45度傾けた状態で使用する。さらに、液晶デバイスの出射口には検光子12を設ける。検光子12の向きは、透過光線の偏光方向が入射光の偏光方向と直交するように置く。図8に強度変調素子として液晶空間光変調素子を使用する場合を示す。

【0070】入射光の電界を $\cos \omega t$ とする。空間ベクトルの形で記述すると、

【0071】

【数1】

$$\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cos \omega t, \frac{1}{\sqrt{2}} \cos \omega t \right)$$

のように書ける。液晶デバイス透過後の光は、

【0072】

【数2】

$$\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cos \{\omega t + \phi_x(V)\}, \frac{1}{\sqrt{2}} \cos \{\omega t + \phi_y(V)\} \right)$$

となる。さらに、検光子透過後の光は、

【0073】

【数3】

なる位相変調をも同時に受けていることもわかる。

【0078】ただし、 ω はレーザ光の光角周波数、

ϕ_x 、 ϕ_y は、それぞれの軸に沿った位相遅れを表しており、液晶デバイスに印加する電圧Vの関数であることから、それを引数として記述している。

【0079】以上、2次元的な拡がりをもって進む光束について、位相変調のみを行う空間変調器と、強度変調を行う空間光変調器について説明した。いずれの素子も、位相変調器または強度変調器の2次元的なアレイ構成となっているととらえることができる。強度変調を行う場合には、振幅変調とともに位相変調も伴う。しかし、強度変調を行うために素子と位相変調のみを行う素

子を縦続して接続し、強度変調に伴う位相変調を位相変調のみを行う素子において補償することは可能である。このようにして、2次元的光束の振幅と位相を直接制御することが可能となる。

【0080】

【発明の効果】以上説明したように、本発明は、アレーアンテナ素子に与える高周波電気信号の振幅位相分布の制御を光波信号の振幅位相分布の制御に置き替え、かつその対応関係が一对一であり、制御を直接的に行うことができる優れた効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明第一実施例アンテナビーム形成回路のブロック構成図。

【図2】本発明第一実施例アンテナビーム形成回路の具体的なブロック構成図。

【図3】本発明第二実施例アンテナビーム形成回路のブロック構成図。

【図4】本発明第三実施例アンテナビーム形成回路のブロック構成図。

【図5】本発明第三実施例アンテナビーム形成回路の具体的なブロック構成図。

【図6】本発明第四実施例アンテナビーム形成回路のブロック構成図。

【図7】アンテナビーム形成回路の液晶デバイスによる光束の位相変調の原理を示す図。

【図8】アンテナビーム形成回路の液晶デバイスによる光束の強度変調の原理を示す図。

【図9】光ビーム形成回路の原理を説明するブロック構成図。

【図10】第一従来例のアンテナビーム形成回路を使用したアクティブアレーアンテナのブロック構成図。

【図11】第二従来例のアンテナビーム形成回路のブロック構成図。

【図12】第三従来例のアンテナビーム形成回路のブロック構成図。

【符号の説明】

- 1 高周波電気信号入力端子
- 2₁ ~ 2_n 高周波電気信号出力端子
- 3、3₁、3₂、3a ~ 3d レーザ光源
- 4 二分配手段
- 4a、4b ビームスプリッタ

5 重畳手段

5a 音響光学変調器

6₁ ~ 6₂ 拡大手段

6a、6b ビームエクスパンダ

7 強度分布変調手段

7a 反射型液晶空間光強度変調素子

8 位相分布変調手段

8a 反射型液晶空間光位相変調素子

9 合成手段

9a ~ 9c、11a ~ 11c ハーフミラー

10 光電変換手段

10₁ ~ 10_n 光電変換器

10a₁ ~ 10a_n ホトディテクタアレー

12 検光子

13 液晶空間光変調素子コントローラ

14a ~ 14c ミラー

15a ~ 15g コリメートレンズ

16 イメージマスク

17 フーリエ変換レンズ

18 光ファイバ束

19a、19b 空間フィルタ

20 反射型空間光変調器

21 レンズアレー

31 透明ガラス電極

32 液晶分子（ネマチック液晶）

33 液晶デバイス駆動電源

34 入射光束

35 透過光束

41 EO変換部（電気光変換部）

41a EO変換素子

42 光振幅変調器

43 光位相変調器

44 OE変換部（光電気変換部）

44a OE変換素子

50 アンテナビーム形成回路

51 電力分配器

52₁ ~ 52_n 高周波信号増幅器

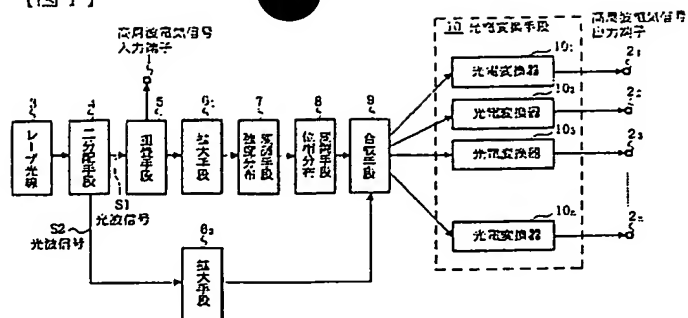
53₁ ~ 53_n 高周波信号移相器

54₁ ~ 54_n 電力増幅器

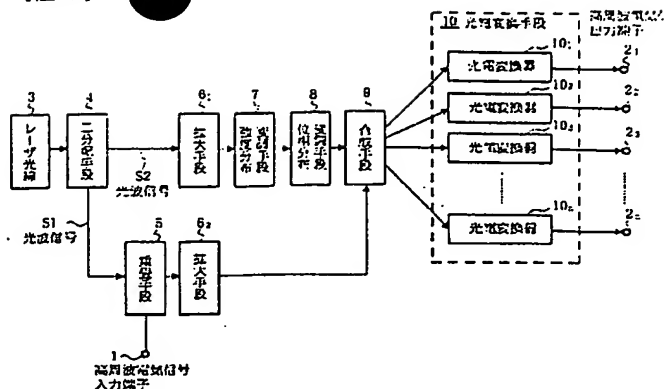
55₁ ~ 55_n アンテナ素子

S₁、S₂ 光波信号

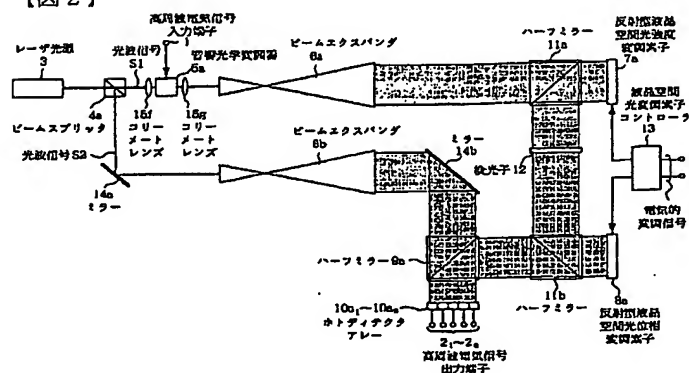
【圖 1】



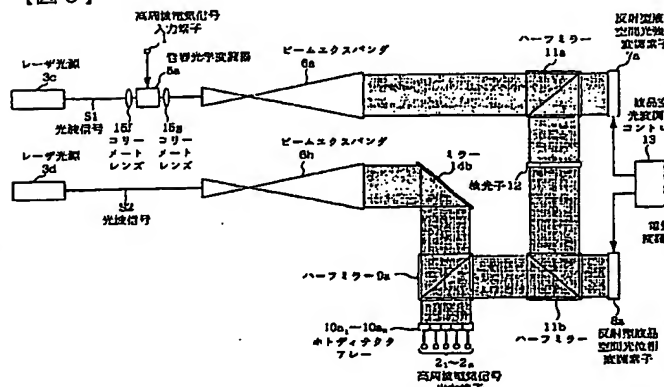
【図 3】



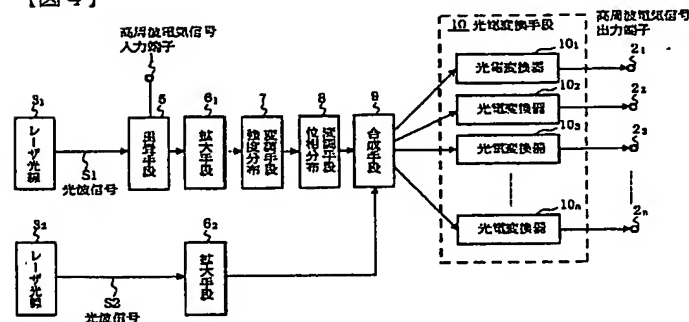
【図 2】



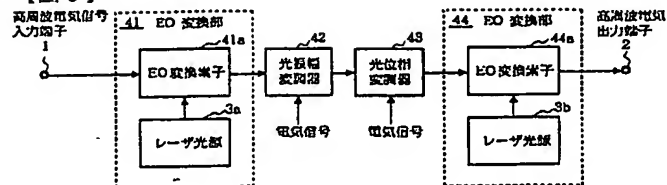
【図 5】



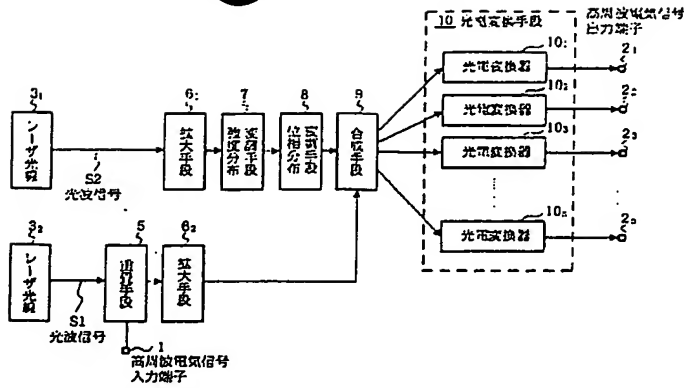
【図 4】



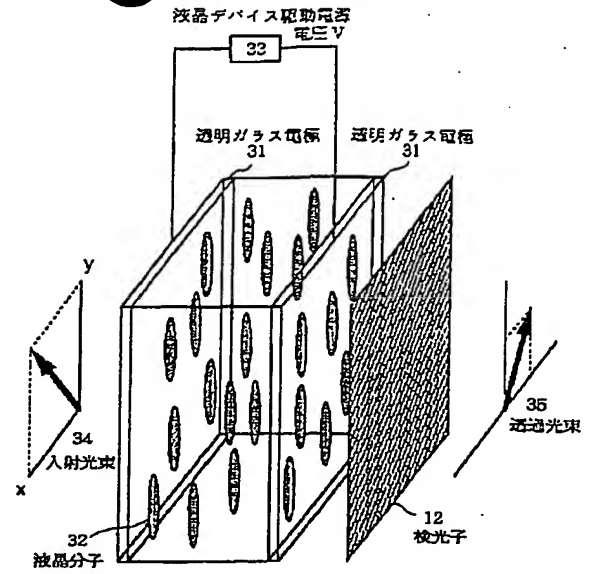
【图9】



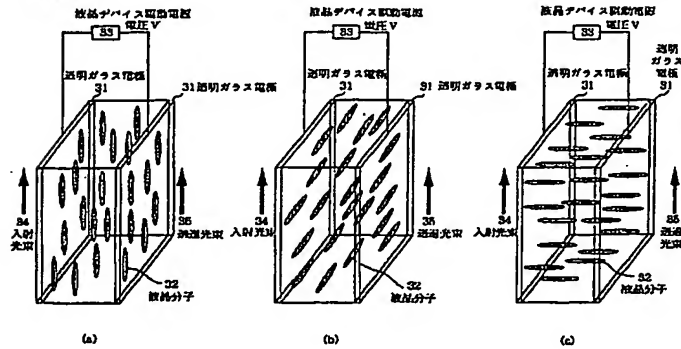
【図6】



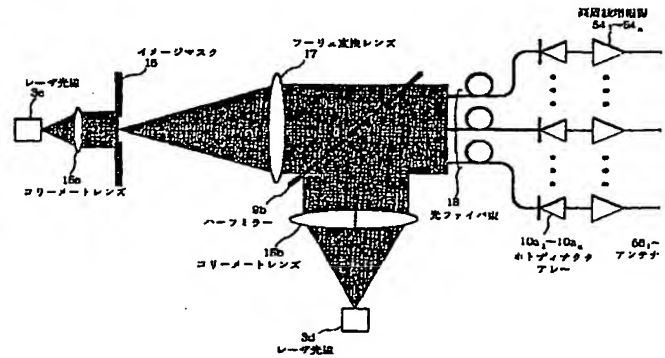
【図8】



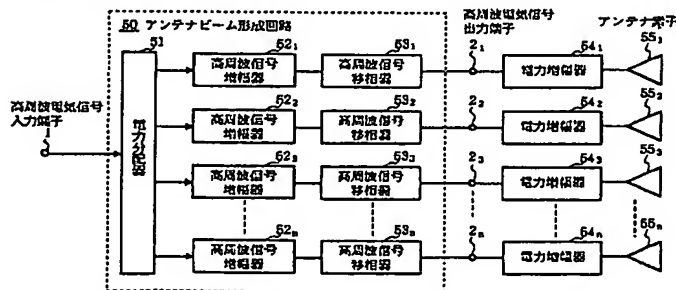
【図7】



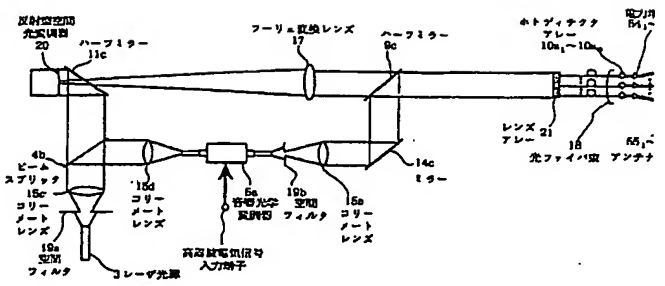
【図11】



【図10】



【図12】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.